

Der Atombegriff in der Physik

Laue, Max von

Veröffentlicht in:
Abhandlungen der Braunschweigischen
Wissenschaftlichen Gesellschaft Band 4, 1952,
S. 229-237



Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig

Der Atombegriff in der Physik

Akademischer Festvortrag anläßlich der Entgegennahme der
Gauß-Medaille für **Erwin W. Müller** am 30. April 1952

Von **Max von Laue**

Mit 11 Abbildungen

Verehrte Anwesende!

Die Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft hat heute, am 175. Geburtstage von Carl Friedrich Gauß, die Gauß-Medaille Herrn Professor Erwin Müller verliehen, und zwar für die Abbildung einzelner Atome und Moleküle. Mit dieser Entdeckung Müllers nähert sich m. E. eine Epoche in der Geschichte der Atomistik ihrem Ende. Darum erscheint es mir angebracht, auf ein paar kennzeichnende Episoden in dieser Geschichte hinzuweisen, um so mehr, als an der einen Gauß beteiligt ist.

Wer war der erste, der den von den Chemikern, namentlich Dalton und Avogadro, geschaffenen Atombegriff mit Erfolg in die Physik einführte? Man antwortet in der Regel: Krönig und Clausius, welche ihn zur Schaffung der kinetischen Gastheorie benutzten. Aber fast 30 Jahre früher hatte ein sonst unbekannter Freiburger Physiker, Ludwig August Seeber, einen entscheidenden Schritt dazu getan, allerdings nicht in bezug auf die Gase, wohl aber auf die Festkörper.

Am Ende des 18. Jahrhunderts haben französische Mineralogen das Rationalitätsgesetz der Kristallflächen, welches sie freilich nur für wenige Kristallarten kannten, mittels einer Hypothese über den Aufbau der Kristalle aus einander gleichen parallelepipedischen Bausteinen zu verstehen gesucht. Aber diese Bausteine dachten sie als kontinuierlich mit Materie erfüllt, so daß auch der ganze Kristall ein Kontinuum bildete. Seeber brach 1824 mit dieser Vorstellung und setzte statt dessen — er dachte zunächst an chemische Elemente — je ein Atom in den Mittelpunkt dieser Parallelepipede. Das war der entscheidende Schritt zur heutigen Vorstellung von den Raumgittern der Kristalle. Um verständlich zu machen, warum diese voneinander getrennten Atome ihre Abstände bewahrten, dachte sich Seeber, auch darin ganz originell, Kräfte zwischen ihnen, unter deren Einfluß sie Ruhelagen in endlichen Entfernungen voneinander einnehmen. Zugleich hatte er damit eine Theorie für die Deformation der Körper durch äußeren Zwang. Ihm fehlte zur heutigen Atomtheorie eigentlich nur die Deutung der Wärmeausdehnung; da ihm von thermischer Bewegung nichts bekannt sein konnte, nahm er einen Temperatureinfluß auf die interatomaren Kräfte an, ein für die damalige Zeit begreiflicher Irrtum.

Wieweit Seeber seinen Zeitgenossen voraus war, zeigt die allgemeine Nichtbeachtung seiner Veröffentlichung; erst 1879 grub Sohncke, wissenschaftlich ein Nachfolger Seebers, die Arbeit wieder aus. Nur einer zeigte

sogleich Verständnis, nämlich Carl Friedrich Gauß (dies ist auch ein Grund für die Hervorhebung dieser Episode am heutigen Tage). In einer Buchbesprechung wies er nämlich auf die mathematischen Probleme der „Parallel-epipedischen Anordnung von Punkten im Raume“ hin, also auf eine zu entwickelnde Gruppentheorie der Raumgitter. Ob Bravais, welcher einen ersten Schritt dazu tat, von Gauß angeregt war, weiß ich nicht. Jedenfalls schloß sich an ihn eine längere Entwicklung an, welche über den schon genannten Sohncke schließlich, 1891, zur vollständigen Beantwortung dieser Frage führte: Fast gleichzeitig stellten Fedorow und Schoenflies fest, daß es 230 gruppentheoretisch verschiedene Raumgitter gebe.

Heute kann man, wie Sie wissen, die gegenseitige Lage der Atome in den Raumgittern mittels der Röntgenstrahlen experimentell bestimmen. Aber dazu braucht man eine ausgedehnte und in manchen Fällen gar nicht einfache mathematische Theorie. Warum entwirft man nicht mit Röntgenstrahlen unmittelbare Bilder der Raumgitter, wie doch das Mikroskop optische Gitter unmittelbar abbildet? Dann wären ja auch die Atome, wenn auch nur im Verbands des Raumgitters, sichtbar.

Das hat seinen guten Grund. Die optische Abbildung eines linearen Gitters oder Kreuzgitters beruht nach Abbe auf dessen Beugungsspektren; diese muß das Abbildungsinstrument in möglichst großer Zahl auffangen, um zu einem getreuen Bilde des Gitters zu gelangen. Beim Raumgitter aber entwirft ein monochromatischer Röntgenstrahl, auf gut Glück hindurchgesandt, im allgemeinen kein solches Spektrum. Auch wenn wir für Röntgenstrahlen Linsen oder Hohlspiegel oder irgendeinen Ersatz dafür besäßen, nützten sie uns nichts für die Abbildung der Raumgitter. Durch Einhaltung gewisser Bedingungen kann man freilich, wie bekannt, Abbeugung einzelner Strahlen erzielen. Aber ihre Kombination mit dem direkten Strahl ergäbe nie mehr, als wenig aufschlußreiche Interferenzstreifensysteme. Darin liegt die grundsätzliche Unmöglichkeit, die Atome in Festkörpern mit Röntgenstrahlen abzubilden.

Alle älteren Beobachtungen, auf welche sich die Atomtheorie stützen konnte, ob sie nun chemischer oder physikalischer Art waren, hatten mit einer ungeheuren Vielzahl von Atomen zu tun. An der kinetischen Gastheorie war ja das wesentlich Neue, daß sie auf Erforschung des Einzelschicksals der Atome grundsätzlich verzichtete und statt dessen Wahrscheinlichkeits-Aussagen über riesige Mengen von Atomen machte. So kam es, daß sich bis etwa 1900 immer wieder Stimmen erhoben, welche die Realität der Atome anzweifelten. Ein beliebtes, wenn auch nicht gerade von tiefer physikalischer Einsicht zeugendes Argument war, die Atome hätten im Gegensatz zu allen wirklich existierenden Körpern keine Farbe. Zwar konnte man nicht leugnen, daß Zahlenangaben über Atom- oder Molekulargewicht als Kennzeichen der betreffenden Substanz eine reale Bedeutung hätten; aber jede Atomtheorie, vor allem also die der Gase, galt in diesen Kreisen als ein Gleichnis, das nur bis zu einem gewissen Grade zu richtigen Schlüssen führen könne. Selbst noch 1912, als ich dem berühmten Münchener Mineralogen Paul v. Groth die ersten Röntgendiagramme von Kristallen zeigte, war seine erste Frage: „Ist damit nun die Realität der Atome bewiesen?“ Ich konnte ihm nur erwidern, ohne die felsenfeste Überzeugung von ihrer Realität hätte ich kaum den Mut gehabt, diese Durchstrahlungsversuche anzuregen.

Meines Erachtens gab es allerdings 1912 schon eine ganze Reihe anderer Indizien für den Wert der Atomistik. Ich erinnere an das große Gebiet der thermodynamischen Schwankungen, die die atomistischen Wahrscheinlichkeitsbetrachtungen unmittelbar bestätigten. Der Durchgang der Elektrizität durch Gase, insbesondere die Kathoden- und Kanalstrahlen, zwangen zu einer Atomistik der elektrischen Ladung. Die optische Dispersion ließ sich nicht ohne diese verstehen. Man hatte schon vor 1900 sogar Wirkungen einzelner Atome in den Scintillationen der von Alphastrahlen getroffenen Leuchtschirme gesehen, lange bevor das Zählrohr die Wirkung einzelner Elektronen, Alphateilchen usw. sichtbar oder auch hörbar machte. Weit eindrucksvoller aber zeigte solche Wirkung die 1913 konstruierte Wilsonsche Nebelkammer, nämlich die Bahnen einzelner Korpuskeln (Abb. 1). Im Prinzip dasselbe leisten heute die in photographischen Schichten, welche man z. B. zur Erforschung der Höhenstrahlung braucht, sichtbaren Bahnspuren der aus dem Weltraum eintreffenden Korpuskeln und der von ihm ausgelösten Atomkern-Trümmer (Abb. 2).



Abb. 1. Spuren von bewegten Elementarteilchen in der Wilson'schen Nebelkammer.

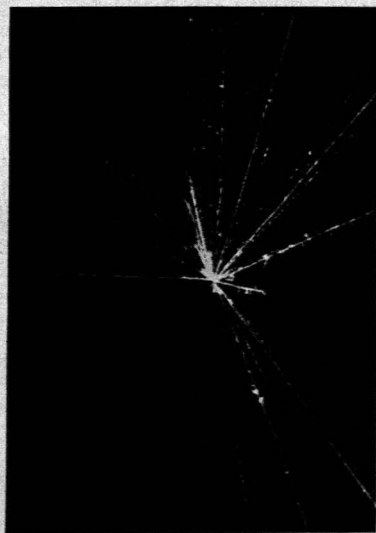


Abb. 2. Durch ein Höhenstrahlteilchen ausgelöste Kernzertrümmerung in einer photographischen Schicht.

Aber zum Nachweis eines einzelnen, ruhenden Atoms besaßen wir vor Erwin Müller kein Mittel. Lassen Sie uns zusehen, wie er zu seiner Entdeckung gekommen ist. Er ging aus von der sogenannten Feldemission von Elektronen.

In den verschiedensten Gebieten der Physik hat sich die Vorstellung bewährt, daß an der Oberfläche der Metalle und metallischen Leiter für die Elektronen eine Potentialschwelle existiert, welche diese bei Zimmertemperatur am Verlassen des Leiters hindert. Erhöht man allerdings die Temperatur, etwa bis zum sichtbaren Glühen, so erhalten einige der Leitungselektronen

eine kinetische Energie, groß genug, um den Potentialwall zu überschreiten und auszutreten. Das gibt die Erscheinung der Glühemission. Nach der Wellenmechanik aber gibt es für die Elektronen einen zweiten Weg, auf die andere Seite des Potentialwalles zu gelangen; für eine Materiewelle ist ein solcher Wall nicht grundsätzlich undurchdringlich, wenn auch in den meisten Fällen die Welle nur unter großer Schwächung hindurch geht. Unter den gewöhnlichen Verhältnissen macht die Breite des genannten Walls freilich einen Austritt der Elektronen in diesem sogenannten Tunneleffekt unbeobachtbar selten. Aber wir können seine Höhe und, was hier wichtiger ist, seine Breite herabsetzen, wenn wir an die Metalloberfläche ein elektrisches Feld anlegen, welches die Elektronen herauszuziehen strebt. Geht man mit der Feldstärke bis zu 10^6 oder 10^7 Volt/cm, so erhält man in der Tat eine Elektronenemission, welche mit wachsender Feldstärke ungeheuer schnell ansteigt. Nach der Theorie von Bethe und Sommerfeld bedingt eine Verdoppelung der Feldstärke unter Umständen eine Verstärkung des Emissionsstroms um den Faktor 10^7 . Selbst wenn die Durchtrittswahrscheinlichkeit für das einzelne Elektron nur $\frac{1}{10000}$ ist, ergibt sich bei der großen Zahl der pro Sekunde vom Inneren auf die Oberfläche auftreffenden Elektronen eine gewaltige Stromdichte für diese Feldemission. Diese Theorie lag schon um 1930 vor.

1935 begann nun Erwin Müller an der Technischen Hochschule Berlin-Charlottenburg, unter Gustav Hertz eine Dissertation mit dem Ziel, die Bethe-Sommerfeldsche Theorie experimentell zu prüfen. Als Kathode, welche die Elektronen lieferte, benutzte er zuerst einen Draht, und als Aufhänger einen zu ihm coaxialen Metall-Zylinder; doch blieb dabei eine weitgehende Unsicherheit in der Ermittlung der wirksamen Feldstärke. Man mißt nämlich nur die Spannung zwischen Draht und Anode; die Feldstärke am Draht kann man daraus sicher berechnen, wenn dessen Oberfläche glatt ist. Aber die Oberfläche auch des best-geglätteten Drahtes ist noch voll von submikroskopischen Erhebungen und Spitzen; man weiß, daß an ihnen weit größere Feldstärken auftreten, als sich bei jener Berechnung ergeben, hat aber kein Mittel, den Unterschied auch nur abzuschätzen. So ging Müller noch in derselben Versuchsreihe zu einer feinen Spitze als Kathode über; der Krümmungsradius beträgt einige 10^{-4} cm. Eine solche Spitze nämlich rundet sich beim Ausglühen, welches schon der Entgasung wegen nötig ist, unter dem Einfluß der Oberflächenwanderung der Atome von selbst ab. Man hat dann weit besser definierte Verhältnisse. Außerdem bleibt beim Abätzen des sehr viel dickeren Drahtes zur dünnen Spitze von dem ursprünglichen mikrokristallinen Gefüge zumeist nur ein einziges Kristallkorn zurück. Die Spitze ist somit ein Einkristall und zeigt überdies (das macht die Herstellung des Drahtes verständlich) einfache kristallographische Orientierung zur Achse der Spitze. Wir kommen bald auf diesen Punkt zurück.

Müllers wesentlichstes Problem war, ob die Bethe-Sommerfeldsche Theorie den Einfluß der von der Glühemission bekannten Austrittsarbeit auf die Feldemission richtig wiedergibt. Dazu mußte man die Austrittsarbeit experimentell abändern. Als Mittel dazu hatten schon Langmuir und Andere die Beladung der Kathode mit Fremdatomen, etwa mit Barium oder Cäsium, angegeben. Die feine Spitze mit oder ohne adsorbierte Fremdatome aber bildet den wesentlichen Bestandteil des heutigen Feldelektronenmikroskops. Müller

fügte später nur noch, einem Beispiel anderer, aber mit der Drahtkathode arbeitender Forscher folgend, den der Spitze gegenüberstehenden Leuchtschirm hinzu (Abb. 3). Auf die Lage der Anode kommt es weniger an; meist ist sie ein Ring, dessen Mittelpunkt in der Spitze oder in deren Nähe liegt. Die elektrischen Kraftlinien stehen ja auf jeden Fall auf der Oberfläche senkrecht und sind dort wegen der geringen Ausdehnung der Spitze stark zusammengedrängt, d.h. die Feldstärke ist dort weit stärker, als in einem Abstande davon. Den größten Teil der Spannungsdifferenz zwischen Kathode und Anode durchlaufen die Elektronen in dieser Gegend und erhalten hier Geschwindigkeiten, die sie instandsetzen, in größerem Abstand unabhängig von den Feldlinien ziemlich geradeaus zu fliegen. Unter der Annahme geradliniger Bahnen ist die Vergrößerung des Feldelektronenmikroskops gleich dem Verhältnis der Krümmungsradien von Spitze und Leuchtschirm, d.h. etwa $5 \cdot 10^5$.

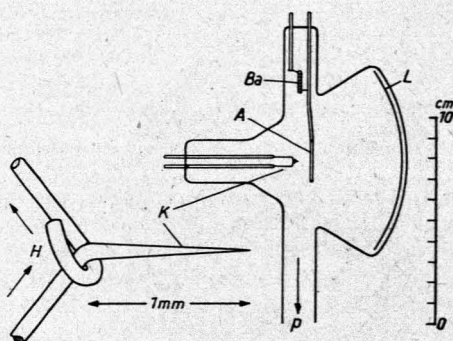


Abb. 3. Schematischer Aufbau des Feldelektronenmikroskops. A = Anode, K = Kathode, Ba = Glühwende zum Bariumaufdampfen, L = Leuchtschirm, P = Pumpe, H = Heizdraht zum Ausheizen der Kathodenspitze.

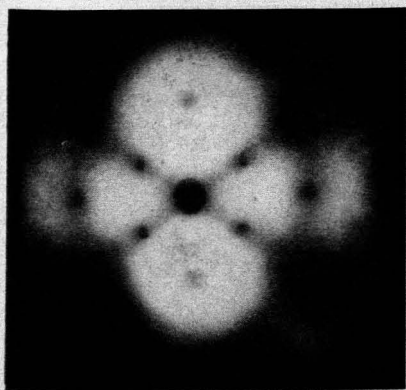


Abb. 4. Emissionsbild einer einkristallinen Wolframspitze im Feldelektronenmikroskop.



Abb. 5. Modell einer Platinspitze mit kristallographisch ausgezeichneten Bereichen.

Benutzt man eine Wolfram-Spitze ohne adsorbierte Fremdatome, so zeigt der Leuchtschirm ein Bild wie in Abb. 4. Zur Deutung betrachten wir ein Holzmodell der Spitze (Abb. 5). Daß diese einen einheitlichen Kristall bildet, sagte ich schon; dies Modell zeigt, daß dieser Kristall trotz seiner im allgemeinen wohl-

gerundeten Form doch einige der natürlichen ebenen Kristallflächen zeigt, jedenfalls als kleine Abflachungen. Aus den Symmetrieverhältnissen des Leuchtbildes

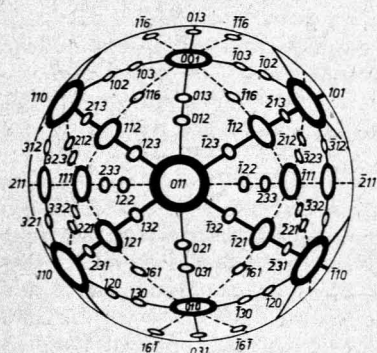


Abb. 6. Modell der Wolframspitze mit den Reflexen der einzelnen Kristallflächen. Die Zahlenangaben sind die Miller'schen Indices.

lassen sich diese Flächen auch leicht indizieren (Abb. 6). Hier ist z. B. die 011-Ebene in der Mitte, daneben treten 4 Ebenen 112, 121 usw. auf, oben und unten die gleichwertigen Ebenen 001 und 010 und außen an beiden Seiten die Ebenen 211 und $\bar{2}11$. Aber in anderen Fällen treten andere Kristallflächen hervor; bei der Platinspitze der Abb. 7 z. B. liegt in der Mitte die 111-Ebene, daneben 3 Ebenen 011, 110 und 101. Schon dies war ein überraschendes Ergebnis der Müllerschen Untersuchungen, denn es zeigt, wie verschieden die Stärke der Feldemission für verschiedene Ebenen ist, und dies bedeutet nach der Bethe-Sommerfeldschen Formel verschiedene Austrittsarbeiten.

Die große Überraschung aber trat ein, als Müller von dieser Spitze nun Fremdatome absorbieren ließ, etwa Barium-Atome, und zwar in so geringer Zahl, daß sich nicht einmal eine monoatomare Schicht gleichförmig auf der Wolfram-Unterlage bilden konnte. Da traten nämlich über dem Bilde der reinen Wolfram-Spitze einzelne Kreisscheibchen hell hervor. Jedes von ihnen deutet ein einzelnes Atom an (Abb. 8).

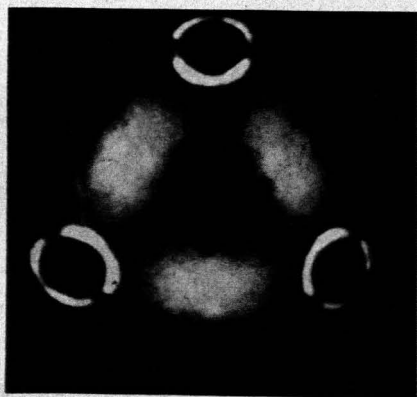


Abb. 7. Emissionsbild einer mit Barium bedampften Wolframspitze.

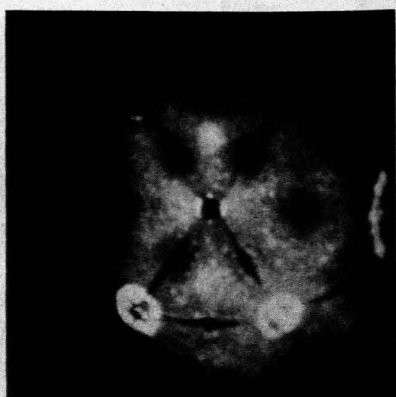


Abb. 8. Emissionsbild einer mit Barium bedampften Wolframspitze bei höherer Temperatur. Die einzelnen Bariumatome bewegen sich ungleichmäßig und schnell hin und her.

Betrachten wir dies genauer. Zunächst muß man von der Vorstellung absehen, daß man ein geometrisch-ähnliches Bild von der Atomform erhält. Was ist überhaupt Atomform? Jeder Kreis beweist nur die Existenz eines Atoms

in demselben Sinne, wie im optischen Ultramikroskop jedes Kreisscheibchen das Dasein eines ultramikroskopischen Teilchens beweist, ohne etwas über dessen Gestalt auszusagen. Der endliche Durchmesser des Scheibchens rührt sicher hauptsächlich von der thermischen Bewegung der Elektronen im Metall her. Sie treffen ja nicht senkrecht auf die Oberfläche, sondern besitzen noch eine zu ihr tangentielle Geschwindigkeit, die sie beim Austritt beibehalten. Leider besitzen wir noch keine mathematische Theorie der Feldemission für Stellen mit adsorbierten Atomen, so daß sich dieser Punkt nicht quantitativ fassen läßt. Wollte man von dem Durchmesser eines Scheibchens nach dem genannten Vergrößerungsverhältnis auf die Größe der Anlagerung schließen, so müßte man auf eine Vielzahl von Atomen in ihr schließen.

Warum betrachtet man trotzdem jedes Scheibchen als Anzeichen für ein Atom? Es gibt dafür im wesentlichen 3 Gründe:

Eine Vielzahl in einem Haufen befindlicher Atome müßte nach allem, was wir über den festen Körper wissen, selbst schon eine Art Kristallstruktur, d.h. gewisse bevorzugte Richtungen enthalten. Diese müßten sich irgendwie gesetzmäßig dem Raumgitter der Unterlage anpassen, so daß die Scheibchen ungleichmäßige Helligkeit, und benachbarte Scheibchen Parallelstellung der hellsten Richtungen zeigen müßten. Nichts davon ist beobachtet.

Sodann wäre es schwer verständlich, wie bei geringer Bedeckung der Unterlage mit adsorbierten Atomen die bestimmt einzeln ankommenden Atome sogleich in immer gleichen Anhäufungen sichtbar werden sollten; man würde doch erwarten, Nachweis für Anhäufungen verschiedener Größe, angefangen vom einzelnen Atom, zu sehen. Tatsächlich treten diese Scheibchen alle in gleicher Beschaffenheit auf, schon bei den ersten Spuren von Adsorption.

Den entscheidenden Beweis aber ergibt die Betrachtung der Oberflächenwanderung. Indem man die Häufigkeit von Platzwechseln in der Abhängigkeit von der Temperatur der Spitze beobachtet, bekommt man ein Maß für die für einen solchen Wechsel notwendige Aktivierungsenergie. Und der so gefundene Wert läßt sich nach einer schon älteren Berechnung von Stranski und Suhrmann nur verstehen, wenn die Atome einzeln auf der Unterlage aufsitzen; wären sie zu Haufen geballt, so müßte diese Energie viel größer sein.

Schließlich möchte ich noch andeuten, daß M. Drechsler und E. Müller in einer zur Zeit im Druck befindlichen Untersuchung die Zahl der adsorbierten Atome unabhängig von diesen Leuchtbildern abschätzen und durch Vergleich mit dem Leuchtbild nachweisen, daß die Zahl der sichtbaren Scheibchen etwa 60 bis 70 Prozent der Zahl der Atome ausmacht; dies wäre unverständlich, wenn nicht jedes Atom sein eigenes Scheibchen hervorriefe.

Die Atome verschiedener Elemente unterscheiden sich voneinander und von kleineren Molekeln, wie z. B. Aluminium-Oxyd, weniger durch das Aussehen der Scheibchen als durch die Verteilung über die kristallographisch verschiedenen Teile der Spitzen; freilich variiert diese Verteilung mit der Temperatur. Da man sie einzeln erblickt, kann Müller außer der Oberflächenwanderung auch Oberflächenreaktionen untersuchen, z.B. Zusammentritt von Wasserstoff und Sauerstoff und umgekehrt die Dissoziation des Wassers auf der Wolframunterlage. Es eröffnet sich hier ein reiches, noch gar nicht beackertes Feld für die Oberflächenchemie. Auch die lang bekannte Kathodenzerstäubung kann man hier in ihren Elementarvorgängen studieren. Aber ich

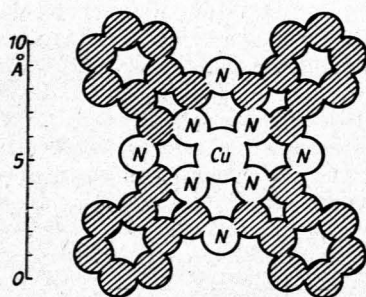


Abb. 9. Molekülmodell des Phtalocyanins

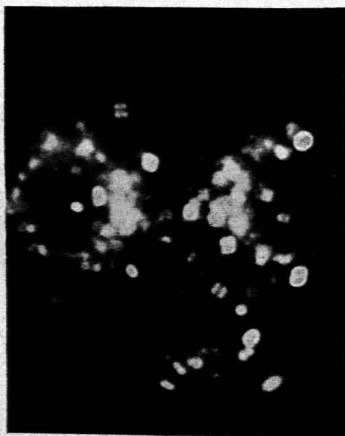


Abb. 10. Emissionsbild einer mit Phtalocyanins bedampften Wolframspitze. Vgl. die kleeblattförmige Emission mit der Abb. 8.

will darauf nicht näher eingehen, vielmehr auf die Abbildung größerer organischer Moleküle hinweisen. Bei ihnen handelt es sich, da das Auflösungsvermögen des Feldelektronenmikroskops bis zu $15\text{--}20 \cdot 10^{-8}$ cm hinunter reicht, unter Umständen schon um eine Andeutung der Form.

Das klassische Beispiel dafür ist das Phtalocyanin. Die organische Chemie schreibt dem aus vielen Atomen bestehenden Molekül die in Abb. 9 dargestellte Form zu. Sie ähnelt mit ihren vier in derselben Ebene liegenden Benzolringen einem vierblättrigen Kleeblatt. Die Kantenlänge beträgt $10 \cdot 10^{-8}$ cm. Dampft man diesen Farbstoff vorsichtig auf eine Wolframspitze, so ergibt sich das Bild von Abb. 10. Man erkennt ohne weiteres in ihm Flecke in dieser Kleeblatt-Form. Daß nicht alle Flecke diese Form haben, liegt daran, daß sich nicht alle Moleküle mit ihrer Ebene auf die Unterlage auflegen, sondern zum Teil mit der Kante. Warum auch zweigeteilte Flecken auftreten, ist noch nicht ganz aufgeklärt.

In den Anfängen erst befindet sich die Umgestaltung des Feldelektronenmikroskops zu einem Feldionen-Mikroskop. Ihm liegt der folgende Sachverhalt zu Grunde:

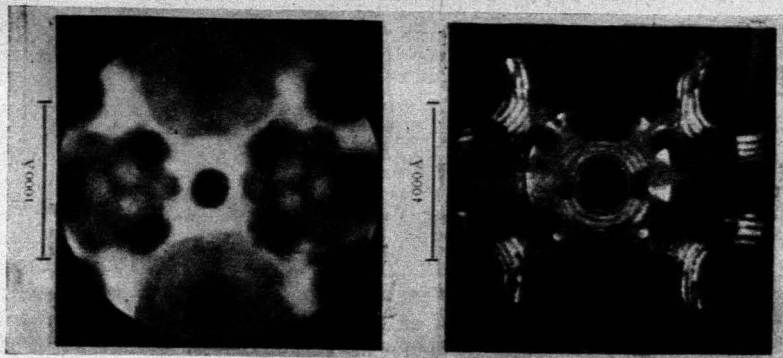


Abb. 11. Bildverbesserung bei der Abbildung einer Wolframspitze im Feldemissionsmikroskop durch Verwendung von Ionen (rechts) statt Elektronen (links).

Die Spitze wird jetzt zur Anode gemacht. Das starke und inhomogene elektrische Feld vor ihr zieht neutrale Gasatome vermöge ihrer Polarisierbarkeit zur Spitze hin. Diese geben dort Elektronen ab und werden danach, als positive Ionen, vom Feld von der Spitze zum Leuchtschirm fortgezogen. Abb. 11 zeigt nebeneinander dieselbe ziemlich reine Wolframspitze im Feldelektronen- und Feldionen-Mikroskop. Sie sehen, wieviel differenzierter das letztere Bild ist. Man darf hoffen, diese Vergrößerung des Auflösungsvermögens bis zur Sichtbarmachung des Raumgitters der Unterlage zu steigern.

Müllers Entdeckung bedeutet, wie gesagt, den Abschluß jener Epoche der Atomforschung, welche mit der atomistischen Deutung der chemischen Grundgesetze begann, und über das Studium vieler verschiedener Massenerscheinungen sich immer mehr der Erkennung des einzelnen Atoms näherte. Sie ist eine rein experimentelle Leistung; niemand hatte vorher daran denken können, daß die Feldemission einer solchen Anwendung fähig wäre. Aber dieser Erfolg ist dem jugendlichen Autor keineswegs in den Schoß gefallen. Die Herstellung feiner Spitzen war etwas Neues; niemand hatte vor ihm durch Abätzen die Schärfe so weit getrieben. Ich habe mehrfach angedeutet, daß sein Verfahren für viele Forschungen den Weg frei macht. Dabei kann sich noch manche Überraschung ergeben.